

# STEND INSPEKČÍ PALIVOVÝCH SOUBORŮ

## FUEL ASSEMBLY INSPECTION STAND

Miloslav Ruchař

ŠKODA JS a.s., Divize D3 Jaderné zařízení, odbor Konstrukce

### Abstrakt

Příspěvek prezentuje nové zařízení ŠKODA JS a.s, které je určeno k provádění provozních kontrol ozářených palivových souborů na jaderných elektrárnách. Stend inspekci palivových souborů (dále jen SI-PS) je v případě projektu VVER-1000/V-320 navržen pro provoz v prostoru sekce havarijního vyvezení jaderného paliva ve skladovacím bazénu na reaktorovém sále. Tato koncepce s výhodou umožňuje provádět inspekce palivových souborů při současném provozu zavážecího stroje v ostatních částech bazénu skladování paliva bez dopadu do harmonogramu odstávky bloku, použité principy však lze upravit a implementovat i na bloky jiného designu.

Zařízení je dálkově ovládáno z řídicího pultu a je vybaveno antikolizním systémem s vazbou na řízení pohybu zavážecího stroje. Tento systém umožňuje zajetí pracovní tyče zavážecího stroje do pracovního prostoru zařízení SI-PS, a tím umožňuje průběžnou výměnu inspektovaných souborů. Celková kapacita kontrolovaných souborů tak není omezena kapacitou mříže havarijního vyvezení, ale pouze časem vymezeným pro tyto kontroly v rámci odstávky bloku, s ohledem na další prováděné činnosti.

Zařízení SI-PS umožňuje provádět vizuální inspekci vnějších povrchů pomocí high-rad kamer a geometrickou inspekci v rozsahu měření hodnoty zkrutu, průhybu a měření délky palivových souborů. Pro tento účel zařízení zajišťuje i potřebnou manipulaci s kontrolovaným palivovým souborem v prostoru nad absorpční trubkou kompaktní mříže. Modulární koncepce zařízení je řešena tak, aby do budoucna bylo možné rozsah prováděných kontrol i dále rozšířit. Provozovatelům energetických bloků toto zařízení poskytne cenné informace o provozním stavu palivových souborů s výrazně nižšími nároky na čas jejich provedení, oproti dosavadnímu typu zařízení tedy ve výrazně vyšší počet zkontrolovaných souborů během odstávky a s vyšší kvalitou získaných dat, která odpovídá současnému stavu techniky v této oblasti.

### Abstract

This contribution deals with a new device of ŠKODA JS a.s., which is designed for inspections of irradiated fuel assemblies at nuclear power plants. In the case of the VVER-1000/V-320 project, the fuel assembly inspection stand (hereinafter referred to as SI-PS) is designed for operation in the area of the emergency fuel storage section in the storage pool in the reactor hall. This advantageous concept allows fuel assemblies inspections to be performed while the fuel handling machine is operating in other parts of the fuel storage pool without impact on the unit outage schedule. However, the principles used can be adapted and implemented for NPP units of other designs too.

The device is remotely controlled from a control panel and is equipped with an anti-collision system linked to the motion control of the fuel handling machine (FHM). This system allows the FHM work column to get to the working area of the SI-PS, thus enabling the continuous exchange of inspected assemblies. Therefore, the total capacity of the inspected assemblies is not limited by the capacity of the emergency storage rack, but only by the time allocated for these inspections during the unit shutdown, taking into account other activities being carried out.

The SI-PS device allows visual inspection of the external surfaces using high-rad cameras and geometric inspection of torsion, deflection and length of the fuel assembly. For this purpose, the device also provides the necessary handling of the inspected fuel assemblies in the area above the storage rack absorption tube. The modular concept of the device is designed so that the range of inspections can be extended in the future. This device will provide power plant operators with valuable information on the operational status of fuel assemblies with significantly lower time requirements, i.e. a significantly higher number of assemblies inspected during an outage compared to the existing device, and with a higher quality of data obtained, which corresponds to the current state of the art in this field.

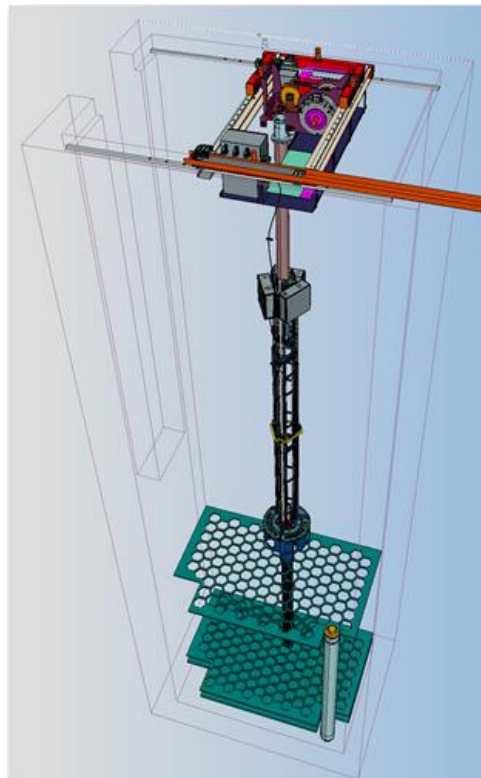
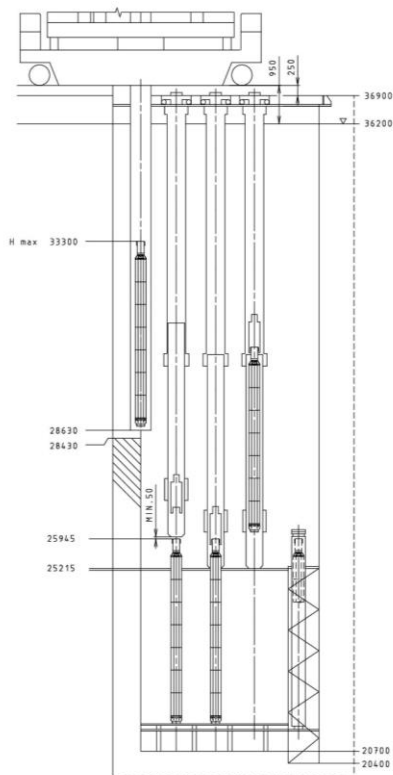
### **Inspekce palivových souborů – inovativní řešení vyvinuté ve spolupráci ŠKODA JS a.s. a ČEZ, a. s.**

Inspekce palivových souborů (PS) byly na jaderné Elektrárně (JE) Temelín prováděny pomocí zařízení MSIO – mobilní stend inspekcí a oprav. Zařízení se instalovalo do prostoru šachty B04, která je určena pro transport čerstvých PS i pro vyvážení použitých PS do obalových souborů, respektive jako montážní šachta pro ZS → kolize více technologií v jednom prostoru s vlivem na HMG odstávky. Zařízení MSIO bylo využíváno pro vizuální kontrolu vnějších povrchů PS, měření průhybu, zkrutu a délky PS v odloženém stavu, měření tloušťky oxidické vrstvy na palivových proutcích (PP), kontrolu těsnosti palivových proutků nepřímou UZ metodou v případě demontáže palivové hlavice.

Zařízení je v provozu od zahájení provozu JE Temelín od roku 2001 a provozovateli jaderné elektrárny přináší velmi cenné informace o stavu provozovaných palivových souborů. Pro udržitelnost jeho provozu do dalších kampaní elektrárny však bylo nutné řešit i potřebné investice do údržby zařízení MSIO. Na straně inženýringu ČEZ, a. s. proto vznikl velmi zajímavý nápad na prověření nové koncepce zařízení a přesunutí inspekcí PS do jiného prostoru bazénů skladování paliva, a to do sekce B02 bazénů skladování a výměny paliva (BSVP). Takovým řešením by vznikla nová možnost provádět inspekce PS nezávisle na činnostech v šachtě B04, na větším počtu PS, paralelně s jinými činnostmi prováděnými s PS pomocí zavážecího stroje (ZS) během odstávky a došlo by tak i ke zkrácení časů na kritické cestě odstávky bloku.

Tato myšlenka ČEZ, a. s. byla ve spolupráci se ŠKODA JS a.s. rozpracována formou studie proveditelnosti, která tento záměr potvrdila z hlediska možnosti realizace nového stendu do vymezeného prostoru mezi spodní částí mostu ZS a maximální úrovní hladiny vody v B02, při plnění všech požadavků na bezpečnou manipulaci s PS. Výsledkem studie byly hlavní návrhové limity, normativně legislativní požadavky na realizaci stendu a jeho koncepční řešení ve 3D modelu (viz obr. 1).

Během návrhu konceptu byla současně provedena patentová rešerše na stav techniky s cílem získání cenných informací o řešení podobných systémů ve světě a pro zajištění patentové čistoty nového návrhu. Na základě jejích výsledků bylo rozhodnuto o potřebě patentové ochrany nového stendu, následně byla zpracována a podána patentová přihláška a společný patent společností ŠKODA JS a.s. a ČEZ, a. s. pro Českou republiku a Rusko byl udělen v roce 2020. Rozšíření ochrany trhu pro Ukrajinu a evropské teritorium ještě probíhá v současné době.



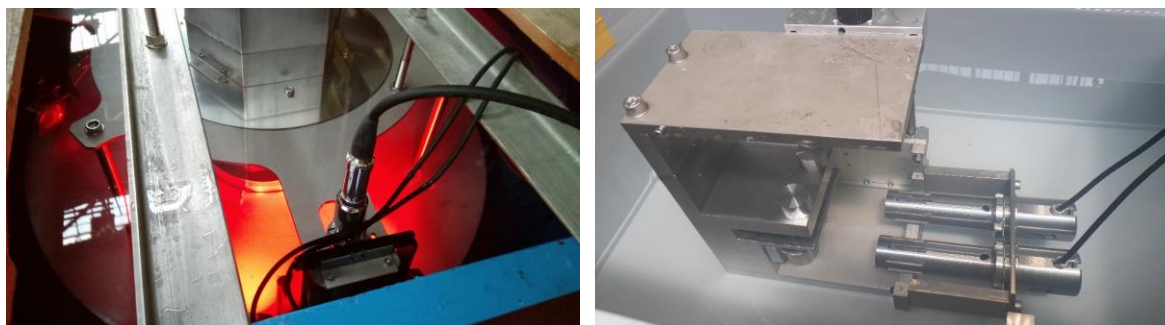
Obr. 1: Zadání prostorových požadavků pro návrh SI-PS a vzniklý koncepční návrh

### **Funkce, účel a hlavní technické parametry**

Stend SI-PS je navržen pro provádění inspekcí všech typů dosud provozovaných PS na JE Temelín, tedy PS od dodavatelů TVEL i Westinghouse. Aktuální provedení stendu umožňuje provádět následující rozsah inspekcí:

- Vizuelní prohlídka viditelného vnějšího povrchu PS pomocí hi-rad odolných kamer:
  - rozlišení do 600 TV řádek,
  - optický zoom až 5x,
  - radiační odolnost špičkově do  $10^4$  Gy/hod, integrálně do  $2 \times 10^6$  Gy.
- Měření geometrie PS v zavěšeném stavu v rozsahu:
  - měření průhybu PS, včetně vyhodnocení vektoru a maximální hodnoty po délce PS, přesnost  $\pm 0,5$  mm,
  - měření zkrutu PS, včetně vyhodnocení maxima na distančních mřížkách po délce PS, přesnost  $\pm 0,5^\circ$ ,
  - měření délky PS v zavěšeném stavu, přesnost  $\pm 0,5$  mm.
- Měření rozložení teplot v blízkosti PS po jeho délce.

Uvedené parametry systémů vizuelní kontroly i rozměrové kontroly PS byly nejprve podrobně prověřeny na vybraných klíčových komponentách nového stendu na počátku projektu, a to formou zkoušek na maketách imitujících budoucí konstrukční řešení stendu v simulaci provozních podmínek inspekcí v bazénu B02 (bez vlivu radiace).



Obr. 2: Ověření klíčových komponent systémů vizuální kontroly i měření geometrie PS na maketách ve ŠKODA JS a.s.

Zkoušky na maketách potvrdily správnost zvolené koncepce a umožnily podrobné rozpracování konstrukce stendu, v jehož řešení je již od začátku uvažován modulární princip řešení jeho částí pro možnost budoucího rozšiřování prováděných inspekcí.

Součástí řešení je i integrovaný antikolizní systém, který umožňuje zajetí ZS do prostoru bazénu B02 při zajištěné parkovací poloze SI-PS. Díky tomuto řešení je umožněna průběžná výměna vybraných PS v B02 pomocí ZS v době provádění jejich inspekce a počet kontrolovaných PS je tak omezen pouze na určený časový prostor, nikoliv kapacitou mříže v B02.

### Konstrukční části stendu inspekce

SI-PS tvoří následující části:

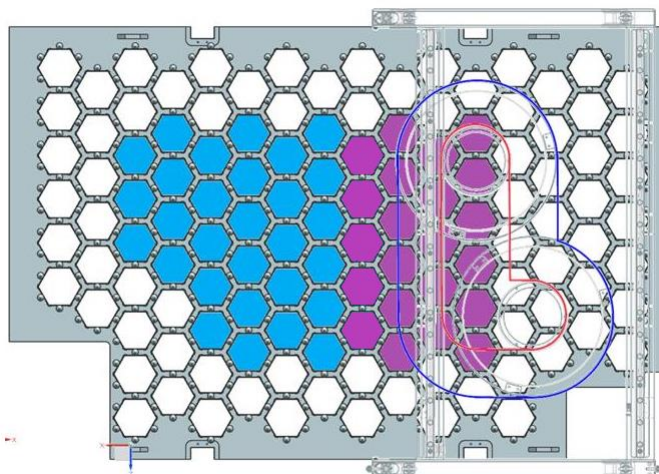
- most – zajišťuje umístění inspekčního sloupu nad vybranou buňku ve skladovací mříži a obsahuje zdvihací mechanismus pro vertikální manipulaci s PS,
- inspekční sloup – zajišťuje zachycení palivového souboru a obsahuje systémy pro provedení vizuální i geometrické inspekce PS,
- operátorské pracoviště – slouží pro ovládání celého zařízení,
- sestavy kabeláže pro propojení jednotlivých celků,
- etalon pro kalibraci inspekčních systémů,
- kolejová dráha, po které se most pohybuje nad mříží,
- transportně skladovací boxy.

Most, sloup a sestavy kabeláže jsou demontovatelné, aby mohly být samostatně transportovány na/z reaktorového sálu ve speciálních kontejnerech. Operátorské pracoviště, tvořené pul-  
tovým rozvaděčem, lze samostatně transportovat pomocí integrovaných závěsných prvků. Kolejová dráha je trvale nainstalována na každém bloku.

Architektura řídicího systému je založena na průmyslovém PC s realtime systémem. Součástí zařízení je i bezpečnostní systém, který pracuje nezávisle na řídicím systému. Pracoviště operátora je umístěno na roštovém poli vedle skladovacího bazénu a slouží pro ovládání všech systémů celého zařízení.

### Montáž stendu a přípravy před inspekci PS

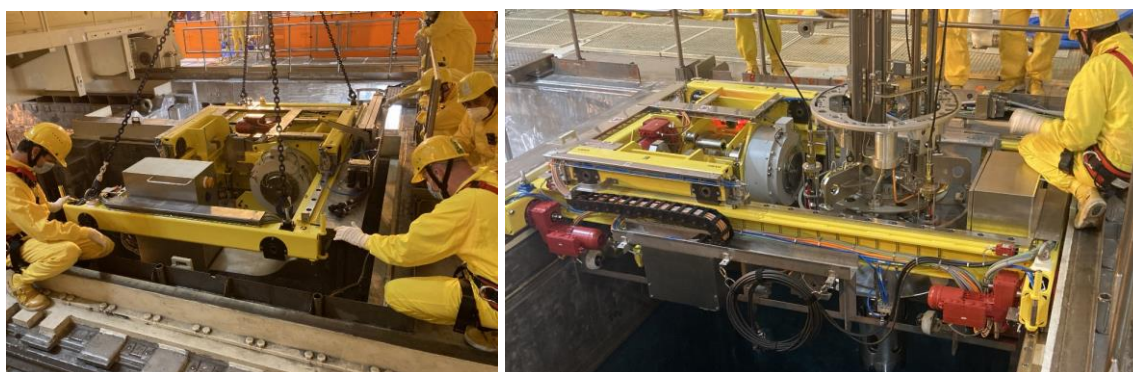
Před montáží SI-PS a zahájením inspekce se nejprve pomocí ZS umístí PS do mříže v bazénu B02 na pozici v tzv. zakryté zóně (kapacita 22 míst), kde po montáži SI-PS již není přístup pro jejich průběžnou výměnu. Další pozice v mříži tvoří tzv. výměnná zóna (kapacita 29 míst), kde je možné PS umístit i po montáži SI-PS a popřípadě provádět jejich průběžnou výměnu.



Obr. 3: Znárodnění zakryté (fialová) a výměnné (modré) zóny v mříži B02

Montáž SI-PS je navržena s důrazem na minimalizaci potřeby manipulací pomocí polárního jeřábu, minimalizaci montážních operací prováděných na reaktorovém sále a snížení potřeby skladovacích ploch v tomto místě na minimum. Montáž probíhá v následujícím pořadí operací:

- transport mostu a pultu z pomocné budovy na reaktorový sál (RS),
- ustavení mostu na koleje nad bazén B02,
- zapojení kabeláže a oživení systému,
- nastavení mostu a kočky do pozice pro montáž sloupu,
- transport sloupu z pomocné budovy na RS do mostu (po uchopení polárním jeřábem v koridoru se umísťuje rovnou do mostu),
- zapojení kabeláže mezi sloupem a mostem,
- ověření všech funkcí systému.



Obr. 4: Vlevo montáž mostu na koleje, vpravo montáž sloupu do mostu SI-PS

Po prověření správnosti montáže a funkcí systému se provede ověření kalibrace měřicího systému geometrie PS pomocí měřicího etalonu a ověří se funkčnost televizního systému.

### Postup inspekce PS

Inspekce jednotlivých PS pomocí SI-PS probíhají v pořadí určeném dle požadavků provozovatele, přičemž se využívají data ze ZS o pozicích jednotlivých typů PS v mříži v bazénu v B02. Po najetí mostu nad příslušný koordinát mříže se nejprve zabezpečí jeho poloha. Po spuštění inspekčního sloupu na mříž se příslušný PS zachytí pomocí záchytu, jehož koncepce je převzata z ověřeného řešení ze ZS. Po zahájení zdvihu PS začne typová inspekce PS složená z vizuální a rozměrové kontroly. Vizuální kontrola se provádí automaticky na prvních třech stranách PS pomocí kamer SI-PS, záznam je průběžně vyhodnocován operátory a ukládán do DTB videoservertu. Koncová poloha zdvihu PS je fyzicky omezena, a zachycený PS proto nelze

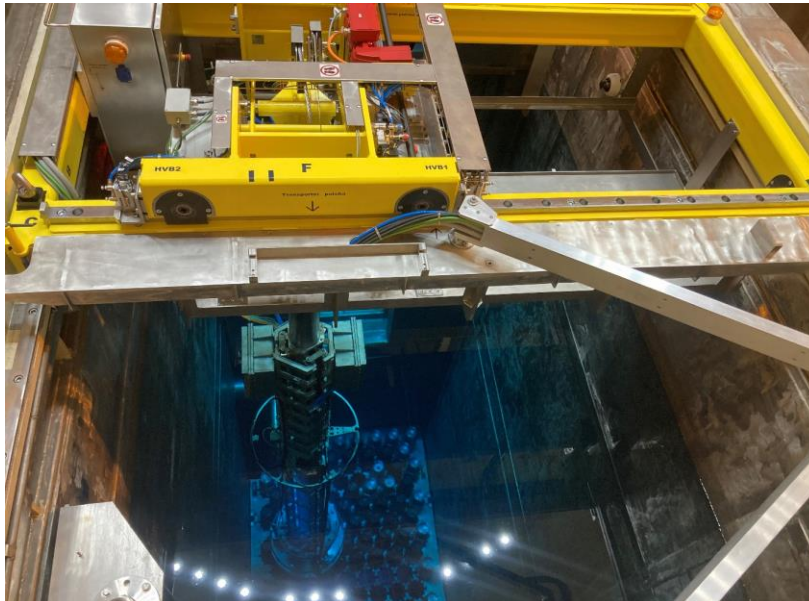


zvednout nad povolený výškový limit, který je definován s ohledem na bezpečnost personálu a radiační situaci na reaktorovém sále.

Po zdvižení PS z mříže se provede změření jeho délky a systém kontroly zkrutu a průhybu provede automatické proměření těchto geometrických hodnot včetně grafického vyhodnocení.

Po kontrole geometrie se kamerový systém SI-PS ustaví do polohy pro vizuální kontrolu zbylých 3 stran PS, která proběhne rovněž v automatickém režimu během spouštění PS zpět do mříže. Tímto krokem je ukončena typová kontrola PS, na kterou může v případě potřeby navázat podrobná vizuální kontrola vybraných míst na povrchu PS.

Po ukončení kontrol na zvoleném PS se odpojí záchyt SI-PS z hlavice PS a sloup se zdvihne z mříže do pozice pro přejezd na následující koordinát.



Obr. 5: SI-PS v bazénu B02 během inspekce PS



Obr. 6: SI-PS – pohled na operátorský pult

### **Demontáž SI-PS a jeho uskladnění**

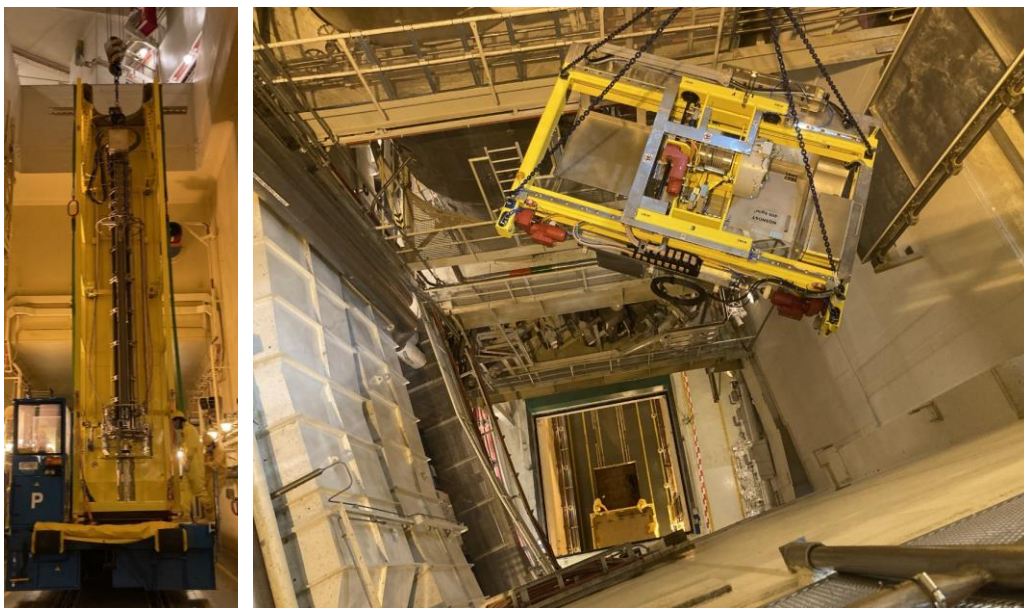
Demontáž SI-PS probíhá v obráceném postupu montáže s doplněním, že se na dílech provádí opatření proti šíření kontaminace, měří se radiační situace a provádějí se dekontaminační po-

stupy. Inspekční sloup lze během demontáže z bazénu B02 zakrýt do ochranné fólie a dekontaminace jeho povrchu ostřikem se provede na určeném místě v šachtě B04. Současně se fólií chrání povrchy mostu, kabeláže i povrchy na reaktorovém sále. Inspekční sloup se po dekontaminaci a oschnutí transportuje koridorem do transportně skladovacího boxu, pomocí kterého se vrátí na určené skladovací místo v budově aktivních pomocných provozů (BAPP).

Po transportu sloupu se provede kontrola radiační situace ostatních částí SI-PS, v případě potřeby se provede dekontaminace povrchů předepsaným způsobem ještě na reaktorovém sále a následně se díly transportují koridorem do transportně skladovacích boxů a na BAPP.



Obr. 7: Demontáž inspekčního sloupu z B02 a jeho dekontaminace oplachem



Obr. 8: Vlevo transport inspekčního sloupu, vpravo transport mostu koridorem

Na uskladněných částech SI-PS v prostorách BAPP lze v průběhu provozní kampaně bloku provádět údržbu i kontrolní činnosti dílčích funkcí jednotlivých uzlů.





Obr. 9: Kontrola funkce TV kamer během uskladnění v BAPP

### Výhody SI-PS vyhodnocené na základě prvních zkušeností z inspekcí

Zkoušky SI-PS proběhly na obou výrobních blocích elektrárny Temelín během roku 2021 a byly rozděleny na 2 etapy, tzv. neaktivní a aktivní zkoušky. Neaktivní zkoušky byly provedeny pomocí imitátoru PS a etalonu na kalibraci systému měření geometrie. Aktivní zkoušky proběhly již s ozářenými PS. Zkouškami byla podrobně prověřena funkčnost zařízení i kompatibilita s technologiemi elektrárny. Z jejich výsledků lze již dne hodnotit zásadní přínosy zařízení SI-PS zejména v těchto oblastech:

- výrazné zkrácení časů montáže i demontáže a splnění zadaných limitů zákazníkem;
- podstatně jednodušší montáž i demontáž zařízení v podmínkách reaktorového sálu, jednoduché operace během dekontaminace dílů, což přispívá k výraznému snížení kolektivních dávek personálu elektrárny (zásady ALARA);
- splnění časového kritéria typové kontroly PS do 1 hodiny;
- zvýšení přesnosti výsledků měření geometrie PS;
- zvýšení kvality obrazových záznamů a komfortu jejich zpracování.

Tab. 1: Časové nároky – montáž, demontáž zařízení

Činnost [hod.]	MSIO	SI-PS	Úspora
Montáž	43	7	-36
Demontáž	45	11	-34

Tab. 2: Časové nároky – kontroly PS

Činnost [hod.]	MSIO	SI-PS	Úspora
Kontrola PS	< 12	< 1	až -11

### Závěr

Závěrem lze konstatovat, že zařízení SI-PS při svém prvním ostrém nasazení v podmínkách výrobních bloků Elektrárny Temelín potvrdilo stanovené cíle, které byly jeho provozovatelem definovány jako podmínky realizace investičního záměru a prokázalo své nesporné výhody oproti dosavadnímu inspekčnímu zařízení. Kvalita a rozsah získaných dat o stavu provozovaných PS jsou důležitou částí bezpečného provozování jaderné elektrárny.